

CEINMANT

CENTRO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y MANTENIMIENTO.

CURSO:
GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

CAPÍTULO 5:
MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM)

ING. RICARDO HUAMÁN





5.1

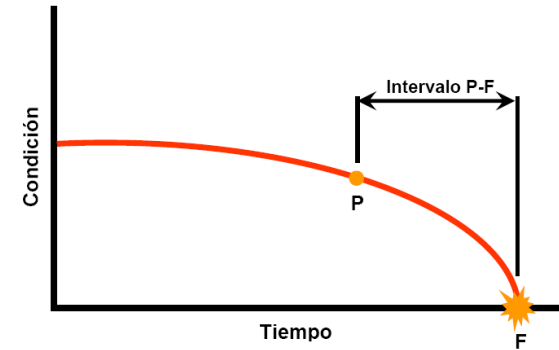
INTRODUCCIÓN

¿Recuerdan **cuáles son** los **métodos** para la **determinación de tareas** de [Mantenimiento](#)?

- Catálogos del fabricante.
- Planes genéricos.
- Experiencias en planta.
- RCM.

Muchos tienen la **certeza** de que los [equipos necesitan](#) una [intervención intrusiva periódica](#) **para asegurar** una condición de [operación óptima](#).

¿Es esto correcto?



Se identifican y priorizan todas las actividades a realizar.

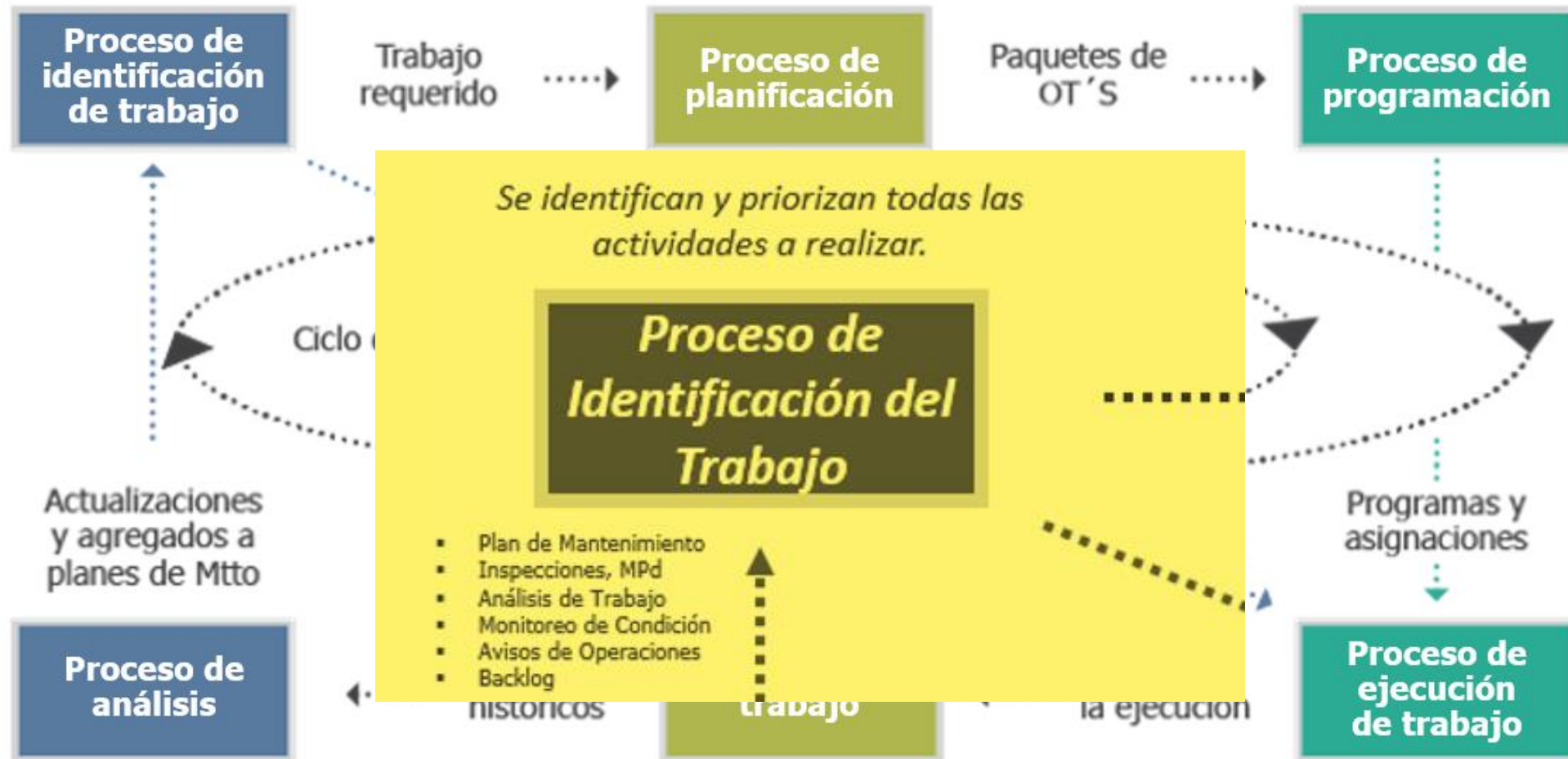
**Proceso de
Identificación del
Trabajo**

- Plan de Mantenimiento
- Inspecciones, MPd
- Análisis de Trabajo
- Monitoreo de Condición
- Avisos de Operaciones
- Backlog



Recordemos el ciclo de mantenimiento

- PROCESO DE MANTENIMIENTO -



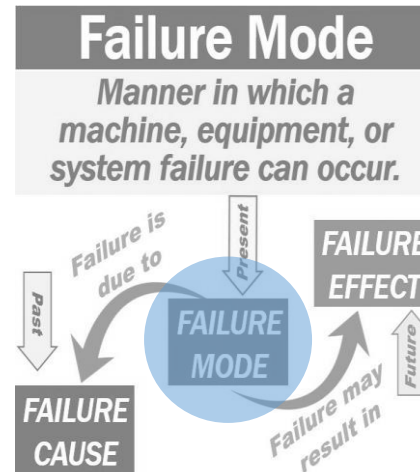
Investigaciones realizadas a fines de los años 60s mostraron que un overhaul no tiene un impacto mayor en la confiabilidad del equipo.



Por ello el mantenimiento se debe orientar al manejo de los modos de falla.

¿Qué es un modo de falla?

- Es un evento que causa una falla funcional. Es la manera de falla.



En **esa investigación** se encontró los siguiente **patrones de falla** de diversos componentes.

		UAL	Broberg	MSDP Studies	SSMD
Age-Related					

TABLE I
PROFILE FAILURE RATES IN REAL CASES

	UAL 1978	Broberg 1973	MSDP 1982	SSMD 1993	SUBMEPP 2001
A	4%	3%	3%	6%	2%
B	2%	1%	17%		10%
C	5%	4%	3%		17%
D	7%	11%	6%		9%
E	14%	15%	42%	60%	56%
F	68%	66%	29%	33%	6%

Notes: UAL is for United Airlines report [1] and Broberg report [2] were based on aircraft data. MSDP report [3] and SUBMEPP report [4] were based on navy vessel components and SSMD report [5] were based on electronic components.

- **Estos hallazgos obligaron a redefinir** los conceptos del mantenimiento, **centrándose** en las funciones de los sistemas, dando origen al RCM.

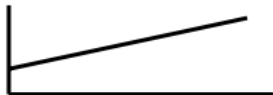
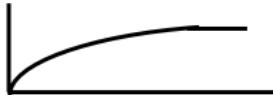
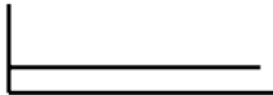
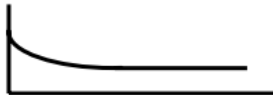
PATRÓN DE FALLA	DESCRIPCION DEL MODELO DE FALLA PROPORCION ESTADISTICA	PROPORCIÓN ESTADÍSTICA
A. Curva De la Bañera	- La probabilidad inicial es conocida como “<u>mortalidad infantil</u>”. Luego la probabilidad de falla en el equipo disminuye hasta que <u>se mantiene igual</u> por un <u>tiempo determinado</u> (fallas que se producen son “aleatorias”), hasta donde la probabilidad de falla comienza a aumentar. - Los equipos o piezas que presenten este modelo de fallas son equipos que están sometidas a desgaste, como <u>motores de combustión interna</u>, <u>sistemas mecánicos nuevos</u>, etc.	4%  A.
B. Desgaste	Al inicio sigue un modelo aleatorio hasta un punto donde aumenta la probabilidad de falla. - Este modelo se presenta en piezas sometidas a desgaste, como <u>ejes</u> , <u>llantas</u>, etc. - Cuando nuevas solo presentan fallas aleatorias, pero cuando pasan cierto limite de desgaste su probabilidad de falla <u>aumenta exponencialmente</u>. Ejemplo, llantas.	2%  B.

PATRÓN DE FALLA	DESCRIPCION DEL MODELO DE FALLA PROPORCION ESTADISTICA	PROPORCIÓN ESTADÍSTICA
C. Fatiga	- El equipo o pieza va incrementando linealmente su probabilidad de falla linealmente (envejeciendo). - Se presenta en piezas sometidas a esfuerzos cíclicos o fatiga, como los resortes, diafragmas, etc.	5%  C.
D. Seguridad infantil	- Elementos que nuevos son extremadamente confiables, pero con el tiempo adquieren un modelo de falla aleatoria. - Se presenta en algunos equipos electrónicos.	7%  D.
E. Aleatorio	- En este modelo el elemento tiene la misma probabilidad de falla en cualquier momento de su vida. - Un gran % de componentes electrónicos se rigen por este modelo.	14%  E.
F. Mortalidad Infantil	- Se presenta una mayor probabilidad de falla cuando el componente es nuevo o ha sido intervenido por mantenimiento. - Si no fallo al principio, la probabilidad de falla en el resto de su vida es aleatoria. - Sucede por deficiencias en calidad del trabajo de mantenimiento (baja calidad de componentes usados, malos procedimientos, etc.)	68%  F.

¿Qué es el RCM?

Según la norma SAE JA1011, el RCM es el **proceso específico para identificar** las **políticas** que deben **ser implementadas** para **manejar** los **modos de fallas** que pueden causar una falla funcional de cualquier activo físico en un determinado contexto operacional.

- **RCM** es un **proceso orientado** a **asegurar** que los **activos continúen haciendo** lo que sus **usuarios requieren** en el **actual contexto operativo**.

Characteristic Category		UAL 1968	Broberg 1973	MSP 1982	SUBMEPP 2001
A		4%	3%	3%	2%
B		2%	1%	17%	10%
C		5%	4%	3%	17%
D		7%	11%	6%	9%
E		14%	15%	42%	56%
F		68%	66%	29%	6%

Nos da un **marco estructurado** para **realizar** un **eficiente Plan de Mantenimiento**, **para minimizar** la **probabilidad de fallas**.

El **RCM** sirve de guía para:

Identificar las actividades de mantenimiento con:

- Sus respectivas frecuencias.
- A los activos más importantes de un contexto operacional.

¿Cómo lo logra?

- Esta **no** es una **fórmula matemática** y
- **Su éxito** se **apoya** principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional,
- Realizado por un **equipo natural de trabajo**.

Una ejecución exitosa del RCM logrará

- Actividades costo-efectivas.
- Mayor disponibilidad.
- Mayor tiempo de operación.
- Conocer los niveles de riesgo.



5.2

OBJETIVOS, BENEFICIOS Y PRINCIPIOS

- *Preservar las funciones de los activos,*
- *En su contexto operacional.*

- Momento correcto
- Frecuencia correcta
- Procedimiento correcto
- Los profesionales correctos
- Y sean las actividades correctas.

	PLAN DE ACTIVIDADES			EQUIPO:	MÁQUINA 1			
AREA		LÍNEA						FECHA ELABORADA:

[illegible]

5.2.2: Beneficios

Logra el **desarrollo** de un óptimo Plan de Mantenimiento.

Preserva las **funciones vitales** del proceso, elevando su confiabilidad.

Desarrolla y **documenta** una gran cantidad de información (funciones, modos de falla, consecuencias en la operación, etc.), que sirve para la trazabilidad de lo analizado y como material de entrenamiento

Maximiza el **uso** de componentes y partes, por su orientación a intervenir según la condición.

Mayor **seguridad** y menor impacto al MA.

Mayor aprovechamiento de las HH disponibles.

Excelentes resultados con un óptimo costo-beneficio (incremento de los costos al inicio).

Mayor vida útil de los equipos.

Incrementa el **rendimiento operacional** (calidad, satisfacción al cliente).

Preservar la función del sistema.

- **Identificar** los modos de falla que pueden afectar a las funciones.
- **Priorizar** las fallas funcionales.
- **Seleccionar tareas** de mantenimiento efectivas y aplicables.
- Considera que el **diseño no necesariamente tiene en cuenta** todo lo necesario para el mantenimiento.
- Las **tareas se definen** bajo un proceso lógico y un grupo multidisciplinario.
- Considera **2 grandes grupos de actividades**: Proactivas o acciones a falta de:

Los principios que definen el proceso RCM son:

Estos principios **no incrementan** la confiabilidad inherente del equipo





5.4

LAS 07 PREGUNTAS DEL RCM

Todo **proceso RCM** debe asegurar **responder** las **siguientes preguntas**.

1 ¿Cuáles son las funciones o estándares deseados en los equipos en el presente contexto operativo?

2 ¿Cómo los activos pueden incumplir sus funciones?

3 ¿Qué causa cada falla funcional?

¿Qué sucede cuando una falla funcional ocurre?

4

¿De qué manera cada falla afecta?

5

6 ¿Qué se debería hacer para predecir o prevenir la falla?

7 ¿Qué se debería hacer si una tarea proactiva no puede ser encontrada?

Ejemplo: Bomba para agua.



1. ¿Cuáles son las funciones o estándares deseados en los equipos en el presente contexto operativo?

¿Qué es una función?

Lo que el dueño o el usuario de un equipo o de un sistema quiere que esta haga (SAE JA 1011)

¿Qué es lo que deseamos que los activos hagan?

Una función se debe expresar mediante:

- Un verbo
- Objeto
- Estándar de operación.



BOMBA PARA AGUA

FUNCIONES

Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min

Conservar el aceite

Posibilitar salir los gases del interior del soporte de rodamientos

Posibilitar ver el nivel de aceite

Existen **dos tipos** principales de **funciones**:

Funciones **primarias**:

- Razón principal por la que es comprado el activo.
- Normalmente está asociado al nombre del equipos.

Funciones **secundarias**:

- Seguridad
- Medio ambiente.
- Control/confort/contención.
- Apariencia.
- Protección.
- Eficiencia/economía/integridad estructural.
- Funciones superfluas



También se puede clasificar por:

FUNCIÓN EVIDENTE:

Es una función cuyo incumplimiento (falla) será inevitablemente evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales.

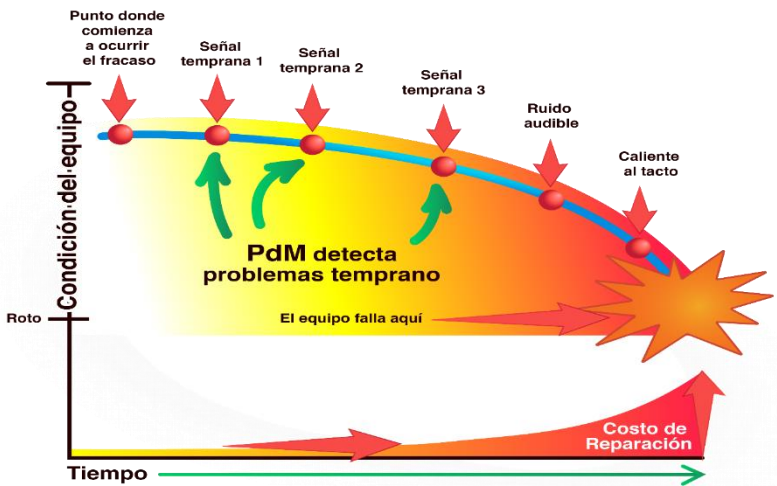
FUNCIÓN OCULTA:

Es una función cuyo incumplimiento (falla) no será evidente a los operadores en circunstancias normales, si se produce por sí sola.



2. ¿Cómo los activos pueden incumplir sus funciones?

¿Cómo pueden fallar?



¿Qué es una falla funcional?

Es la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función, según el estándar de funcionamiento aceptable y definido para el usuario.

BOMBA PARA AGUA	
FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL
Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min	No impulsa agua (0 lt/min)
	Impulsa menos de 95 lt/s
	Impulsa más de 100 lt/s
Conservar el aceite	No conserva el aceite
Posibilitar salir los gases del interior del soporte de rodamientos	No posibilita la salida de los gases
Posibilitar ver el nivel de aceite	No posibilita la visión del nivel de aceite

3. ¿Qué causa cada falla funcional?

¿Cuáles son los modos de falla?

¿Qué es un modo de falla?

Es cualquier evento que causa una falla funcional.

Es el evento que provoca la pérdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional.

Cada falla funcional puede tener más de un modo de falla.

BOMBA PARA AGUA		
FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA
Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min	No impulsa agua (0 lt/min)	Motor en cortocircuito
		Eje de motor fracturado
		Eje de bomba fracturado
	Impulsa menos de 95 lt/s	Sello mecánico con desgaste
		Impulsor desgastado
		Rodamientos trabados
	Impulsa más de 100 lt/s	Variador con parámetros errados

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4 (MODO DE FALLA)	NIVEL 5	NIVEL 6	NIVEL 7
Falla el grupo de	Falla la bomba	Falla el impulsor	Impulsor con soldadura	tuerca de montaje sin ajustar	tuerca ajustada incorrectamente	error de montaje
				tuerca de montaje gastada	tuerca corroída	
					tuerca hecha de material incorrecto	material especificado incorrectamente
				tuerca del impulsor rajada		material suministrado incorrectamente
					tuerca del impulsor sobreajustada	error de montaje
				chaveta cortada	tuerca hecha de material incorrecto	material suministrado incorrectamente
					acero de la chaveta especificado incorrectamente	error de diseño
					acero de la chaveta suministrado incorrectamente	error de pedido
						error de almacén
						error de requerimiento
			Falla por objeto extraño	objeto dejado después de un mantenimiento	error de montaje	
				un cuerpo extraño entra al sistema	filtro del succionador no instalado	error de montaje
					filtro perforado por corrosión	

Ejemplos de modos de falla:

- Suciedad,
- Corrosión,
- Erosión,
- Abrasión,
- Lubricante incorrecto,
- Ensamble Incorrecto,
- Operación Incorrecta, materiales incorrectos

**Fuentes de modos de fallo:**

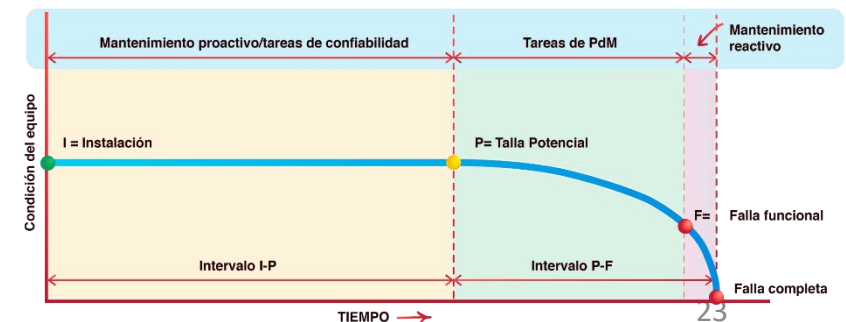
- Datos genéricos.
- Fabricante del equipo.
- Información genérica de procesos similares.
- Registros e historiales técnicos propios.
- Otros usuarios del mismo equipo.
- El personal de mantenimiento.
- El personal de operación.

El Manual
del Fabricante



Las **actividades de mantenimiento** deben orientarse a cada uno de los modos de fallas importantes.

- Las **actividades de mantenimiento** **no** son necesariamente intrusivas.
- Se **debe buscar** ni parar ni abrir el equipo.



4. ¿Qué sucede cuando una falla ocurre?

Cuales son los **efectos de falla** o la **secuencia de eventos** que acontece cuando un modo de falla ocurre.

¿**Qué es** un **efecto de falla**?

Es lo **que sucede** al presentarse los modos de falla, o **como perturba** a nivel operativo.

Para **describirla** se debe **hacer constar lo siguiente**:

- La **evidencia** (si la hubiera) de que se ha producido una falla.
- En **que forma** (si la hay) la **falla supone una amenaza** para la seguridad o el medio ambiente.
- Las **maneras** (si las hubiera) **en que afecta** a la producción y a las operaciones.
- Los **daños físicos** (si los hubiera) **causados** por la falla.
- Que debe **hacerse para reparar la falla**.

BOMBA PARA AGUA

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min	No impulsa agua (0 lt/min)	Motor en cortocircuito	
		Eje de motor fracturado	
		Eje de bomba fracturado	
	Impulsa menos de 95 lt/s	Sello mecánico con desgaste	
		Impulsor desgastado	
		Rodamientos trabados	
	Impulsa más de 100 lt/s	Variador con parámetros errados	

5. ¿ De qué manera cada falla importa?

Es la Consecuencia de falla.

Las consecuencias de falla pueden ser:

- *Oculto.*
- *Seguridad.*
- *Medio Ambiente.*
- *Operacional.*

BOMBA PARA AGUA				
FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS DE FALLA
Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min	No impulsa agua (0 lt/min)	Motor en cortocircuito		Operacional
		Eje de motor fracturado		Operacional
		Eje de bomba fracturado		Operacional
	Impulsa menos de 95 lt/s	Sello mecánico con desgaste		Operacional
		Impulsor desgastado		Operacional
		Rodamientos trabados		Operacional
	Impulsa más de 100 lt/s	Variador con parámetros errados		

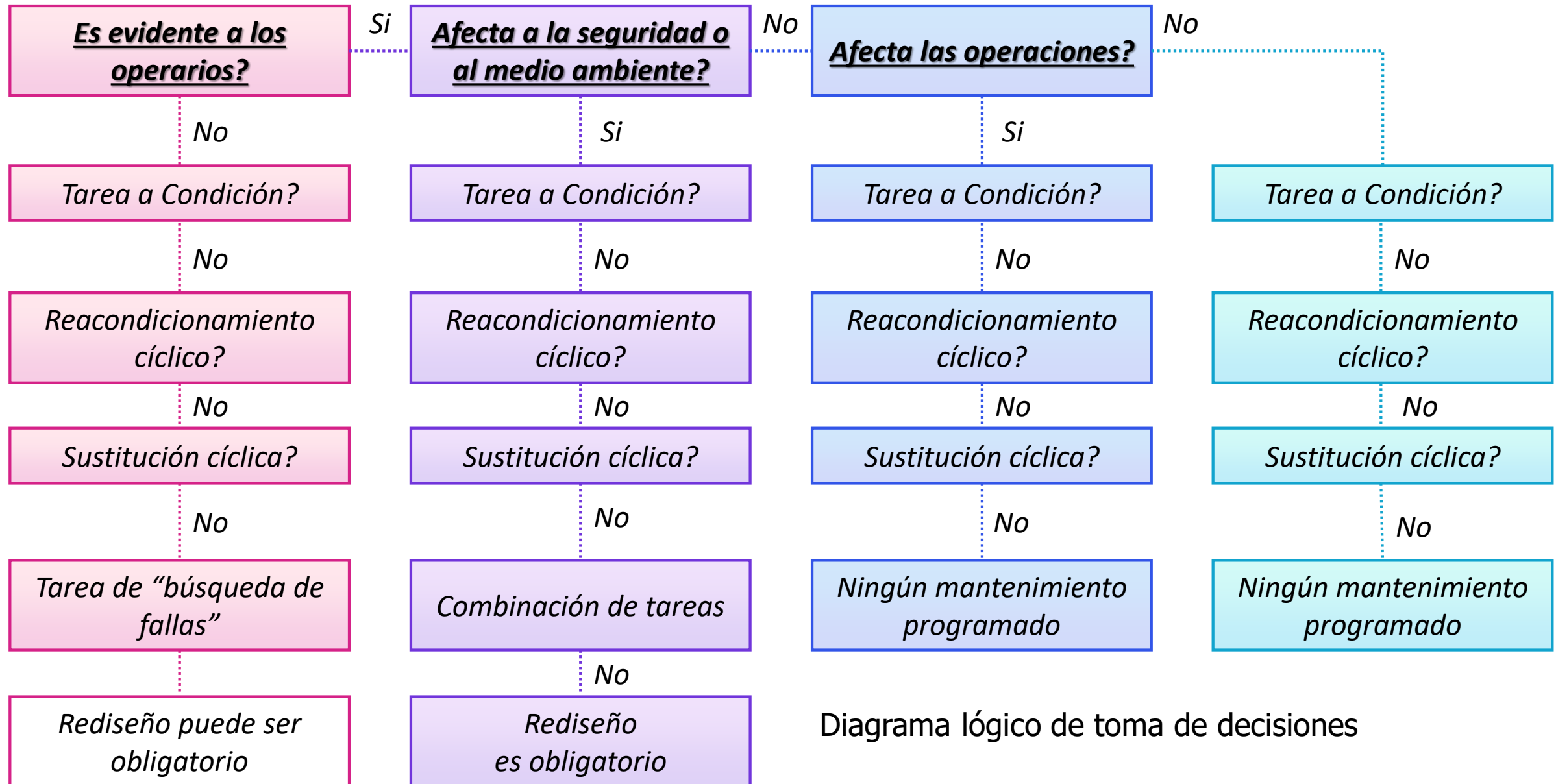
BOMBA PARA AGUA					
FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFFECTO DE FALLA	CONSECUENCIA	TAREAS DE MANTENIMIENTO
Pulsador parada de emergencia	No accione	Contactos de polución	El polvo y la humedad ingresan progresivamente a los contactos internos, agarrotando el mecanismo	Oculto	26

6. ¿Qué se debería hacer para predecir o prevenir la falla?

Qué tareas de mantenimiento (en función de las consecuencias) se debe realizar.

Se prioriza las actividades a condición

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	CONSECUENCIAS DE FALLA	TAREAS DE MANTENIMIENTO
Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min	No impulsa agua (0 lt/min)	Motor en cortocircuito		Operacional	
		Eje de motor fracturado		Operacional	
		Eje de bomba fracturado		Operacional	
	Impulsa menos de 95 lt/s	Sello mecánico con desgaste		Operacional	
		Impulsor desgastado		Operacional	
		Rodamientos trabados		Operacional	
	Impulsa más de 100 lt/s	Variador con parámetros errados			



7. ¿Qué se debería hacer si una tarea proactiva no puede ser encontrada?

Acciones ‘a falta de’.

Pueden ser:

- Búsqueda de falla.
- Rediseño
- Ningún mantenimiento programado.



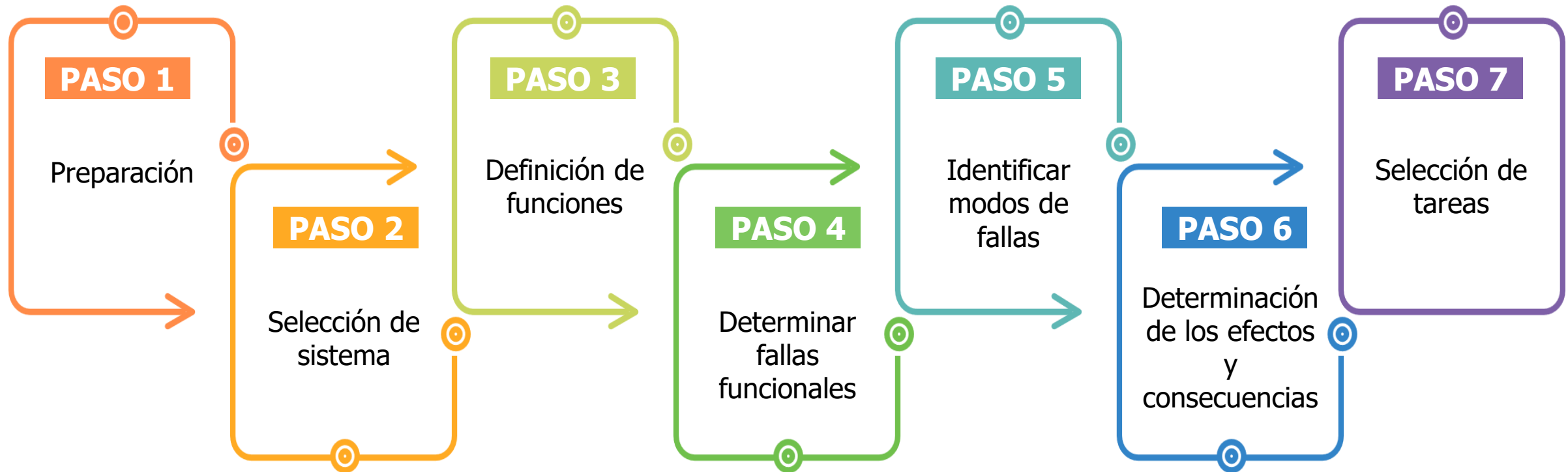
BOMBA PARA AGUA					
FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODULO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA	CONSECUENCIA	TAREAS DE MANTENIMIENTO
Pulsador parada de emergencia	No acciona	Contactos de polución	El polvo y la humedad ingresan progresivamente a los contactos internos, agarrotando el mecanismo	Oculto	Realizar prueba de funcionamiento cada año



5.5

PROCESO (METODOLOGÍA)

El proceso RCM presenta 7 pasos, que son:



1. Preparación

**El primer
paso para el
proceso RCM
es preparar lo
siguiente:**

- *Preparar, organizar, estructurar un equipo de implementación.*
- *Definir el nivel de aplicación del programa.*
- *Asignación de recursos humanos y financieros.*
- *Estimar las necesidades relacionadas con el entrenamiento, organización y estructuración.*
- *Elaborar la metodología y la estrategia para la ejecución de las reuniones de trabajo.*
- *Documentar (preparado para ser auditado) las conclusiones obtenidas en esta etapa.*

Equipo de trabajo

Tiene la función de desarrollar, implementar y ejecutar el programa RCM.

Establecer y gerenciar los recursos necesarios para el programa RCM.



DEBE **ESTAR**
COMPUESTO
POR:

Personal de
mantenimiento.

Personal de
operación.

Personal de
calidad.

Personal de
seguridad.

Fabricantes de
los equipos y/o
proveedores.

2. Seleccionar del sistema

Se debe **asegurar** que el **equipo RCM** tenga conocimiento de los sistemas y lo evalúen según diversos criterios:

- Cantidad de correctivos.
- Costo de Producción.
- Costo de Mantenimiento, etc.

FRECUENCIAS Y COSTO DE FALLOS						
EQUIPOS	FF	HORAS DE PARADA PLANTA	COSTO CORRECTIVO	COSTO PREVENTIVO/PdM	PÉRDIDA PARADA PRODUCCIÓN	COSTO TOTAL
FAJA 4	18	24	10000	3000	24000	37000
FAJA 5	17	12	8000	3000	12000	23000
ZARANDA 4	7	8	4000	5000	7000	16000
ZARANDA 5	3	4	2000	5000	3000	10000

También se debe **recolectar** la información para realizar el análisis del sistema.

¿**Cuáles** son los criterios para la **selección del sistema**?

- Importancia para la seguridad.
- Importancia para el medio ambiente.
- Importancia para la operación del proceso.
- Importancia para la economía de la compañía.

¿**Qué** debemos **documentar**?

- Los métodos de selección utilizados (Pareto, AMEF, etc.).
- Criterios.
- Resultados obtenidos.

DESCIPCIÓN DE EQUIPO	PONDERACIÓN					CONS.	CRITICIDAD	ESCALA
	FF	IO	FO	CM,	HSA			
AREA DE MOLIENDA								
TOLVA No1	2	1	2.5	5	9	16.5	33	NC
TRANSPORTADORNo1	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TOLVA No2	2	1	2.5	5	9	16.5	33	NC
TRANSPORTADORNo2	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo3	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
ELECTROIMAN	2	1	2.5	1	5	8.5	17	NC
MOLINO 1	2	10	2.5	5	15	45	90	C
ELEV.CANGUIL.No1	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo4	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
SIST.VIBROTAMICES	2	1	2.5	1	5	8.5	17	NC
TRANSPORTADORNo5	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo6	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
MOLINO 2	2	10	2.5	5	15	45	90	C
SIST.ASPIRACIÓN	2	1	2.5	5	9	16.5	33	NC
ELEV.CANGUIL.No3	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
SIST.HUMIDIFICADOR	2	4	1.5	5	13	24	48	SC
TRANSPORTADORNo7	2	1	2.5	1	5	8.5	17	NC
ELEV.CANGUIL.No4	2	4	2.5	1	13	24	48	SC
TRANSPORTADORNo8	2	4	2.5	1	9	20	40	SC
TRANSPORTADORNo9	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo10	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
SILO N°1 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
SILO N°2 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
SILO N°3 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
SILO N°4 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
TRANSPORTADORNo11	2	4	1.5	1	9	16	32	NC

Se debe definir lo límites del sistema a analizar.

Identifica y documenta los detalles
esenciales del sistema:

- Descripción del sistema.
- Diagrama de bloques.
- Interfaces.
- Historial.



3. Definir funciones

¿Cuál es el **principal objetivo** del **RCM**?

Preservar la función de los activos.

Por ello se debe listar las funciones y sus fallas funcionales.



BOMBA PARA AGUA

FUNCIONES

Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min

Conservar el aceite

Posibilitar salir los gases del interior del soporte de rodamientos

Posibilitar ver el nivel de aceite

4. Definir fallas funcionales

BOMBA PARA AGUA

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL
<i>Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min</i>	<i>No impulsa agua (0 lt/min)</i>
	<i>Impulsa menos de 95 lt/s</i>
	<i>Impulsa más de 100 lt/s</i>
<i>Conservar el aceite</i>	<i>No conserva el aceite</i>
<i>Posibilitar salir los gases del interior del soporte de rodamientos</i>	<i>No posibilita la salida de los gases</i>
<i>Posibilitar ver el nivel de aceite</i>	<i>No posibilita la visión del nivel de aceite</i>



5. Identificar modos de falla

BOMBA PARA AGUA

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA
Impulsar agua con un caudal de (95-100) lt/min	No impulsa agua (0 lt/min)	Motor en cortocircuito
		Eje de motor fracturado
		Eje de bomba fracturado
	Impulsa menos de 95 lt/s	Sello mecánico con desgaste
		Impulsor desgastado
		Rodamientos trabados
	Impulsa más de 100 lt/s	Variador con parámetros errados



6. Determinación de los efectos y consecuencias

¿Y cómo saber que consecuencia es más importante sobre otra?

Una técnica sistemática de análisis de falla que es usado para identificar los modos de falla, sus causas y consecuencias en el sistema, es el cálculo del RPN.

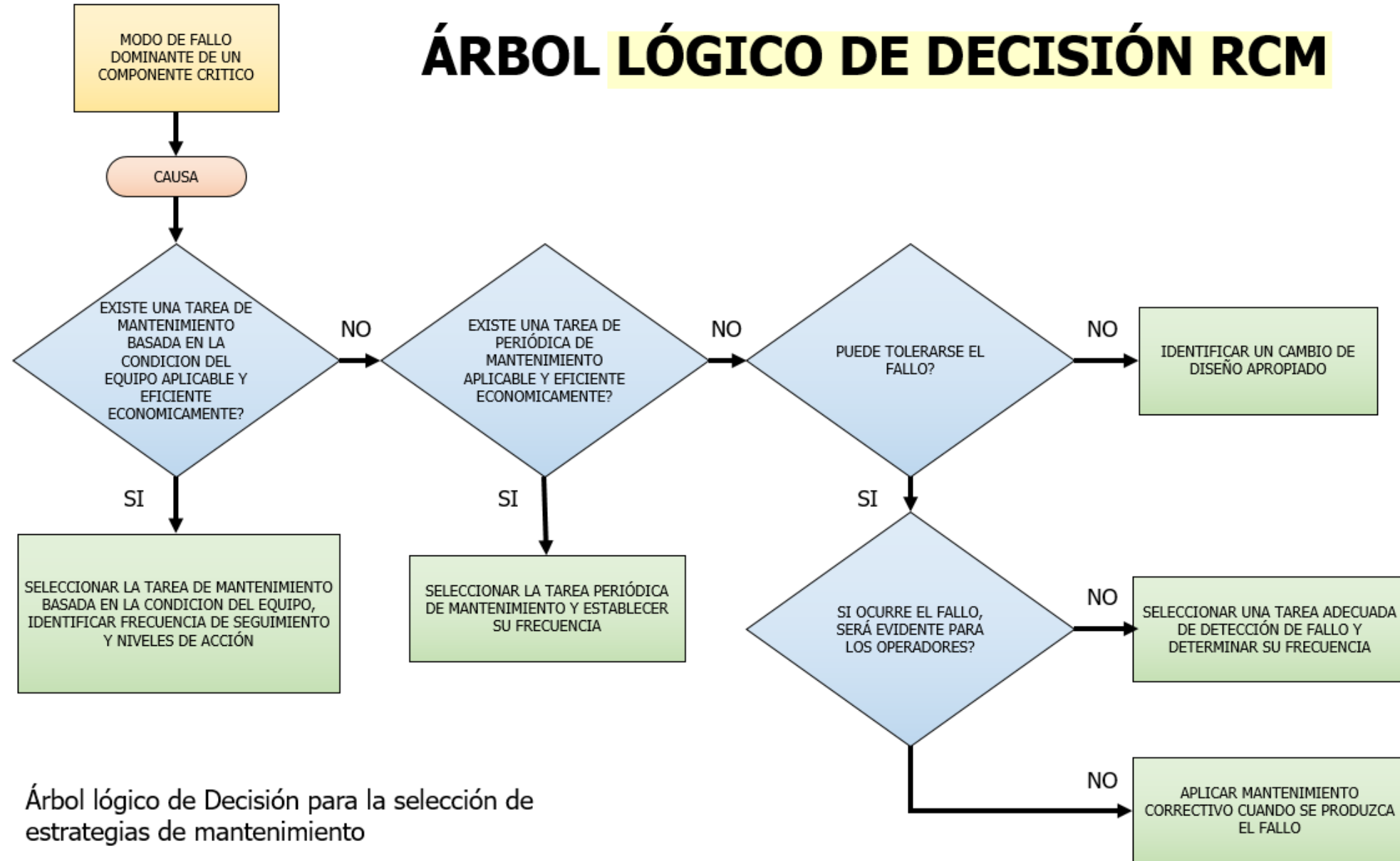
Se debe **considerar 3 factores**:

- Severidad (consecuencia)
- Ocurrencia (probabilidad)
- Detección (probabilidad)

El producto de los 3 origina el número prioritario de riesgo (RPN)

7. Selección de tareas

ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN RCM



Las **tareas deben ser** aplicables y efectivas.

Aplicable: Ser posibles y estar orientadas a prevenir, detectar o descubrir fallas.

Efectiva: Cumpla los objetivos y sean económicamente factibles.

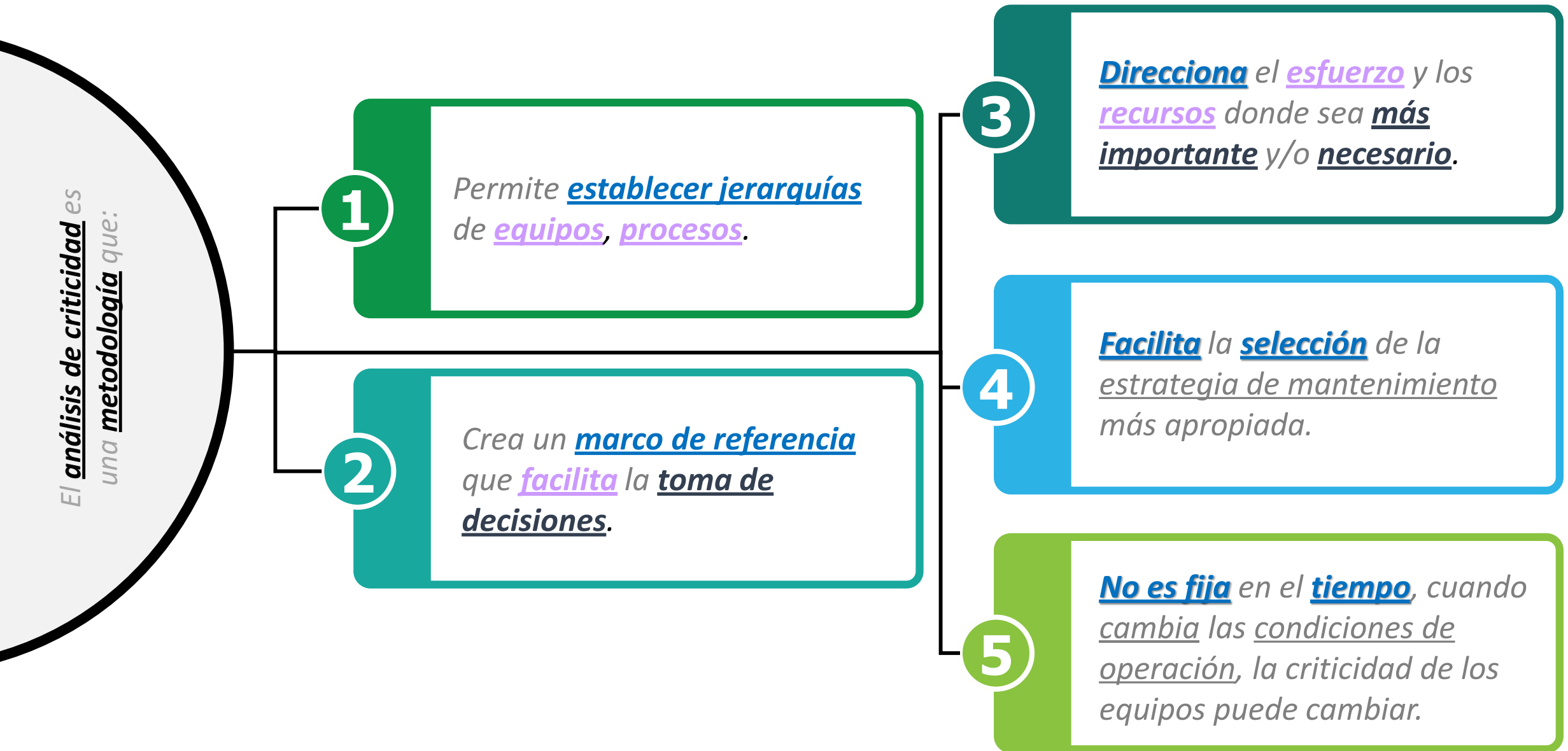
REDUCTOR DE VELOCIDAD

FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSAS	OCURRENCIA	DETECCIÓN	EFFECTOS DE TALLA	CONSECUENCIA	SEVERIDAD	RPM	TAREAS DE MANTENIMIENTO
Reducir la velocidad de 1800 rpm a 60 rpm	No reduce a 60rpm	Rodamiento desgastado(s)	Fatiga	5	4	- Rodamiento vibra, se desgasta, suena, se recalienta y su movimiento se hace mas difícil hasta llegar a un punto en la que no se puede mover mas. - Tiempo de diagnostico y cambio 12 horas	Operacional	9	180	Monitores de vibraciones (máximo 4mm/s)
		Engranajes desgastados				- Engranajes comienzan a desprender partículas, incrementandose cada vez mas el daño, generando ruido intenso y su movimiento se hace mas difícil hasta llegar a un punto en la que no se puede mover mas. - Tiempo de diagnostico y cambio: 12 horas				Análisis de aceite (cantidad de partículas de desgaste y contaminantes)
										Monitoreo de vibraciones (máximo 4mm/s)
		Engranajes sueltos					Operacional			Análisis de aceite (cantidad de particulares de desgaste y contaminantes)
		Lubricante contaminado	Ingreso de contaminantes externos			- Impide la generación de una adecuada capa lubricante en los engranajes y rodamientos, generando desgaste, sobreesfuerzos, recalentamientos y su movimiento se hace mas difícil hasta llegar a un punto en la que no se puede mover mas. - Tiempo de diagnostico y cambio: 12 horas	Operacional			Videoscopia
		Lubricante deteriorado								Análisis de aceite (salud y contaminantes)

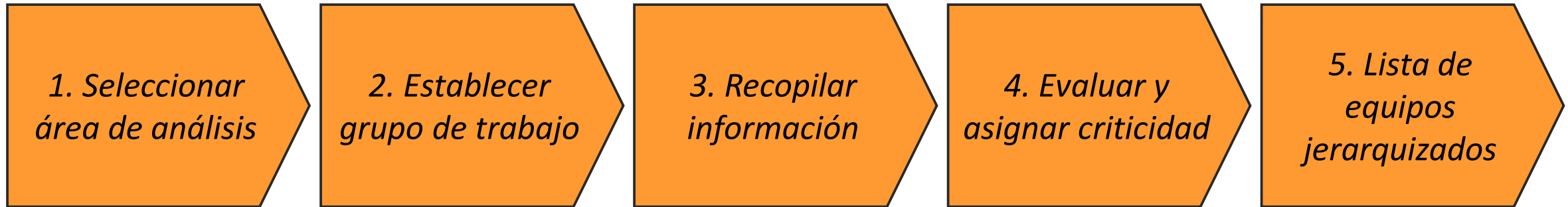


5.6

ANÁLISIS DE CRITICIDAD



¿CÓMO REALIZAR UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD?



El nivel de **criticidad lo determinan** personal de:

- Mantenimiento,
- Operaciones,
- Seguridad,
- Proyectos, etc.

Este **grupo multidisciplinario** determinará la clasificación de prioridades para el MP.

Se **realiza bajo la supervisión** de la gerencia.

Las **evaluación de la matiz depende** de las **variables** o **criterios** (según el proceso) que pueden ser:

CRITERIOS DE JERARQUIZACIÓN				
PROBABILIDAD		CONSECUENCIA		CRITICIDAD
Frecuencia de fallas	4	Seguridad	20	80
		Medio ambiente		
		Costo del equipo		
		Costo del proceso involucrado		
		Flexibilidad operacional		
		Calidad		

ESTRATEGIAS SEGÚN CRITICIDAD		
NIVEL CRITICIDAD	EQUIPO	ESTRATEGIA
CRITICIDAD ALTA	Horno de planta de cemento	• Mantenimiento predictivo, • Inspecciones • Mantenimiento predeterminado
CRITICIDAD MEDIA	Colector de polvo p/limpieza de área	• Inspecciones • Mantenimiento predeterminado
CRITICIDAD BAJA	Bomba de agua jardinería	• Mantenimiento correctivo

¿**Matemáticamente** a qué **es igual** la **criticidad**?

NORSOK STANDARD

Z-008

Edition 3, June 2011

Risk based maintenance and consequence classification

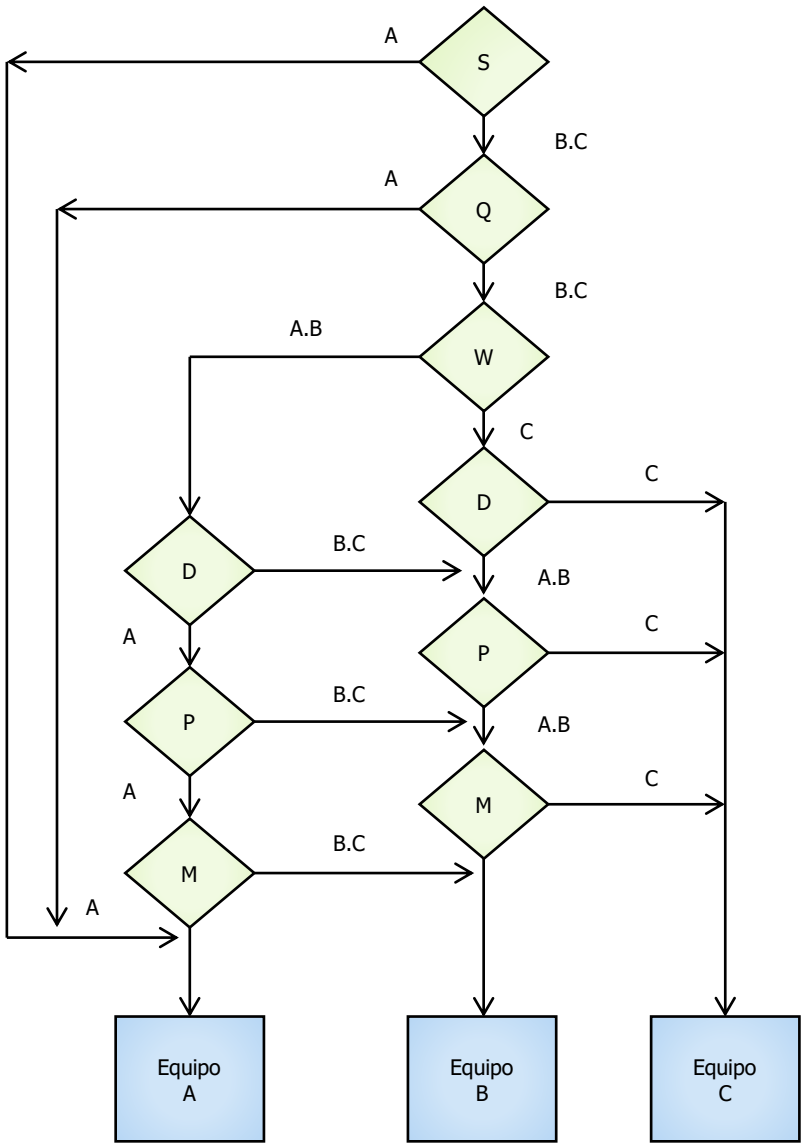
Vamos a **revisar** los **siguientes casos**:

- [Caldero](#).
- [Faja alimentadora](#) de molino (solo y con stand by)
- [Bomba](#) para [soda cáustica](#) al 45% de concentración a 130°C
- [Bomba de agua](#) (utilities).
- [Molino](#)
- [Remalladora](#) (equipo individual de 30)

Table C.3 – Example of risk matrix used for consequence classification and for decisions

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	L	M	H
F1	< 0,1	Long	L	L	M
			Loss of function leading to:		
Consequence category			C1	C2	C3
Consequence safety			No potential for injuries. No effect on safety systems.	Potential for injuries requiring medical treatment. Limited effect on safety systems.	Potential for serious personnel injuries. Render safety critical systems inoperable.
Consequence containment			Non-flammable media Non toxic media Natural/normal pressure /temperature media	Flammable media below flashpoint Moderately toxic media High pressure/ temperature media (>100 bar/80 °C)	Flammable media above flashpoint Highly toxic media Extremely high pressure /temperature media
Consequence, Environment; restitution time (***)			No potential for pollution (specify limit) < 1 month	Potential for moderate pollution. 1 month – 1 year	Potential for large pollution. > 1 year
Consequence production			No production loss	Delayed effect on production (no effect in x days) or reduced production	Immediate and significant loss of production
Consequence other			No operational or cost consequences	Moderate operational or cost consequences	Significant operational or cost consequences

Criterio para la selección de equipo prioritario mediante evaluaciones



Elem. De evaluación	Grado A	Grado B	Grado C
S Seguridad y polución del entorno	Una falla podría causar <u>serios</u> problemas de <u>seguridad</u> y <u>entorno</u> en el área circundante	Una falla podría causar <u>algunos</u> problemas de <u>seguridad</u> y <u>entorno</u> en el área circundante	Una falla podría causar <u>ningún</u> problemas de <u>seguridad</u> y <u>entorno</u> en las áreas circundantes
Q Calidad y rendimiento	Una falla podría causar <u>productos defectuosos</u> o afectar seriamente el <u>rendimiento</u> hasta el <u>95%</u>	Una falla podría causar <u>variaciones</u> de calidad o afectar <u>moderadamente</u> el rendimiento hasta el <u>95%</u>	Una falla <u>no</u> podría <u>afectar</u> ni a la <u>calidad</u> ni al <u>rendimiento</u>
W Estatus de operación	<u>24 horas</u> de operación	Hasta <u>16 horas</u> de operación diaria	Operación <u>intermitente</u>
D Factor de retraso (costos de oportunidad)	Una falla pararía la <u>planta entera</u>	Una falla pararía solamente el <u>sistema afectado</u>	Esta disponible una <u>unidad de reserva</u>
P Periodo de falla	Paradas frecuentes (<u>cada x meses</u>)	Paradas ocasionales (<u>aproximadamente x veces al año</u>)	Difícilmente se produce una parada (<u>mas de una vez al año</u>)
M Mantenibilidad	Tiempo de reparación: <u>04 horas o más</u> Costo de reparación: alrededor de \$y	Tiempo de reparación: <u>01-04 horas</u> Costo de reparación: z\$	Tiempo de reparación: <u>menos de 01 hora</u> Costo de reparación: menos de z \$

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS

Para determinar la consecuencia de la falla se deben sumar los factores evaluados en cada aspecto indicado en la tabla anterior.

$$C_{total} = C_{seguridad} + C_{medio ambiente} + C_{producción} + C_{costos de reparación}$$

INDICADOR DE CONSECUENCIA DE LA FALLA	Puntaje en evaluación de consecuencia	Indicador de consecuencia
	Consecuencia total ≥ 38	6
	Consecuencia total ≥ 28 y < 38 o consecuencia en producción = 12	5
	Consecuencia total ≥ 20 y < 28	4
	Consecuencia total ≥ 10 y < 20	3
	Consecuencia total > 4 y < 10	2
	Consecuencia total ≤ 4	1

EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE FALLA	Frecuencia de ocurrencia de falla	Indicador de frecuencia
	Ocurren fallas diariamente	6
	Ocurren fallas una vez por semana	5
	Ocurren fallas una vez al mes	4
	Ocurren fallas cada seis meses	3
	Ocurren fallas una vez al año	2
	Ocurren fallas cada 10 años	1

TABLA DE EVALUACIÓN DE CONSECUENCIA

<i>Seguridad</i>	<i>Medio ambiente</i>	<i>Producción</i>	<i>Costos de reparación</i>
<i>40- Riesgo de accidente con fatalidades múltiples</i>	<i>40- Riesgo de daño medioambiental severo y de largo plazo</i>	<i>12- Pérdida de producción equivalente mayor a 1 día (46,500ton)</i>	<i>10- Costos de reparación >500KUSD</i>
<i>38- Riesgo de accidente con una fatalidad</i>	<i>32- Riesgo de daño medioambiental de largo plazo</i>	<i>8- Pérdida de producción equivalente entre 12 horas y 1 día ($\geq 22,800$ ton y $\leq 46,500$ton)</i>	<i>8- Costos de reparación >100kUSD Y <500KUSD</i>
<i>30- Riesgo de accidente con discapacidad permanente</i>	<i>28- Riesgo de daño medioambiental de corto plazo</i>	<i>4- Pérdida de producción equivalente entre 2 y 12 horas ($\geq 3,875$ ton y $\leq 22,800$ton)</i>	<i>5- Costos de reparación >50kUSD Y <100KUSD</i>
<i>12- Riesgo de accidente con tiempo perdido</i>	<i>10- Riesgo de daño medioambiental menor</i>	<i>2- Pérdida de producción equivalente hasta 2 horas ($\leq 3,875$ ton)</i>	<i>2- Costos de reparación >10kUSD Y <50KUSD</i>
<i>0- Sin riesgo para las personas</i>	<i>0- Sin daño al medio ambiente</i>	<i>0- Sin pérdida de producción</i>	<i>1- Costos de reparación <10KUSD</i>

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

RIESGO

$$\text{RIESGO} = \text{CONSECUENCIA} \times \text{PROBABILIDAD}$$

Las consecuencias de que un sistema no cumpla sus funciones, independiente de que ha causado la falla.

La probabilidad o frecuencia con la cual el sistema requiere un trabajo correctivo no planificado

TABLA DE CRITICIDAD (RIESGO)

Probabilidad	6	6	12	18	24	30	36
	5	5	10	15	20	25	30
	4	4	8	12	16	20	24
	3	3	6	9	12	15	18
	2	2	4	6	8	10	12
	1	1	2	3	4	5	6
$R = C \times P$	1	2	3	4	5	6	
	Consecuencia						

FACTORES DE DETERMINACION DE LA LINEA CRÍTICA

FRECUENCIA DE FALLAS		COSTO DEL MANTENIMIENTO	
Pésimo, más de 50 Fallas al mes	4	Mayor al 100% del presupuestado	10
Malo. más de 30 fallas al mes	3	Igual al presupuestado	5
Regular, mas de 10 fallas al mes	2	Inferior al 100% del presupuestado	1
Promedio, menos de 10 fallas al mes	1		
IMPACTO OPERACIONAL (Capacidad de Procesamiento)		IMPACTO EN HIGIENE, SEGURIDAD, MEDIO AMBIENTE	
Parada inmediata de toda la producción	10	Grave: entorno con alto nivel de residuos, alta posibilidad de personas muertas, ambiente polvoriento y asfixiante todo el tiempo	15
Reduce la capacidad a menos del 50%	7	Severa: entorno con residuos, alta posibilidad de lesionados, ambiente que apenas permite visibilidad	13
Reduce capacidad de 50% a menos de 85%	4	Moderada: escasos residuos, esporádicos lesionados, visibilidad interrumpida esporádicamente	9
Reduce capacidad entre 85% y 100%	1	Baja: No hay residuos, practicamente no hay lesionados, buena visibilidad todo el tiempo	5
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL			
No se cuenta con línea alternativa y no se cumple con el objetivo mensual de producción	2.5		
Se cuenta con la línea alternativa y no se cumple con el objetivo mensual de producción	1.5		
Se cuenta con la línea alternativa y se cumple con el objetivo mensual de producción	1		

CRITICIDAD = Frecuencia de Fallas X Consecuencias

CONSECUENCIA = (Impacto Operacional X Flexibilidad) + costo Mtto + Impacto HSA

MATRIZ DE CRITICIDAD

FRECUENCIA

4	SC	SC	C	C	C
3	SC	SC	SC	C	C
2	NC	NC	SC	SC	C
1	NC	NC	NC	SC	C
	[0 ; 10 >	[10;20>	[20 ; 30 >	[30 ; 40 >	[40 ; 50]

CONSECUENCIAS

NC	NO CRITICO
SC	SEMI CRITICO
C	CRITICO

Criticidad= FF*Consecuencias**FF= Frecuencia de fallas****Consecuencias= IO*FO+CM+HSA****Crit= FF*(IO*FO + CM+HSA)**

$Criticidad = FF * Consecuencias$

$FF = \text{Frecuencia de fallas}$

$Consecuencias = IO * FO + CM + HSA$

$Crit = FF * (IO * FO + CM + HSA)$

DESCIPCIÓN DE EQUIPO	PONDERACIÓN					CONS.	CRITICIDAD	ESCALA
	FF	IO	FO	CM,	HSA			
AREA DE MOLIENDA								
TOLVA No1	2	1	2.5	5	9	16.5	33	NC
TRANSPORTADORNo1	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TOLVA No2	2	1	2.5	5	9	16.5	33	NC
TRANSPORTADORNo2	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo3	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
ELECTROIMAN	2	1	2.5	1	5	8.5	17	NC
MOLINO 1	2	10	2.5	5	15	45	90	C
ELEV.CANGUIL.No1	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo4	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
SIST.VIBROTAMICES	2	1	2.5	1	5	8.5	17	NC
TRANSPORTADORNo5	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo6	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
MOLINO 2	2	10	2.5	5	15	45	90	C
SIST.ASPIRACIÓN	2	1	2.5	5	9	16.5	33	NC
ELEV.CANGUIL.No3	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
SIST.HUMIDIFICADOR	2	4	1.5	5	13	24	48	SC
TRANSPORTADORNo7	2	1	2.5	1	5	8.5	17	NC
ELEV.CANGUIL.No4	2	4	2.5	1	13	24	48	SC
TRANSPORTADORNo8	2	4	2.5	1	9	20	40	SC
TRANSPORTADORNo9	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
TRANSPORTADORNo10	2	1	2.5	1	9	12.5	25	NC
SILO N°1 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
SILO N°2 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
SILO N°3 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
SILO N°4 MOLIENDA	2	1	1.5	1	9	11.5	23	NC
TRANSPORTADORNo11	2	4	1.5	1	9	16	32	NC

